

Benjamin Kienast^{1,2} · Rainer H. Burgkart³ · Andreas Petersik⁴ · Nils Reimers⁴ · Hanjo Neumann¹ · Claudia Beigel⁴ · Arndt P. Schulz^{1,2}

¹Abteilung für Unfallchirurgie, Orthopädie & Sporttraumatologie, Berufsgenossenschaftliches Unfallkrankenhaus Hamburg, Hamburg, Deutschland

²Sektion für Unfallchirurgie, Abteilung für Chirurgie des Stütz- und Bewegungsapparates, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Lübeck, Deutschland

³Klinik für Orthopädie & Sportorthopädie, Technische Universität München, München, Deutschland

⁴Stryker Trauma GmbH, Schönkirchen, Deutschland

Passform eines neuen auf Basis einer anatomischen Knochen-datenbank entwickelten Klavikula-Osteosyntheseplattensystems (VariAx Clavicle) im Vergleich zu individuell von Chirurgen gebogenen Rekonstruktionsplatten

Hintergrund und Fragestellung

Klavikulafrakturen sind häufig und machen einen Anteil von 2,6–4 % aller Frakturen des Erwachsenen und 35 % aller Frakturen im Bereich des Schultergürtels aus [1, 9]. Die Inzidenz von Klavikulafrakturen wird auf 29–50 pro 100.000 Einwohner pro Jahr geschätzt [3]. Führender Unfallmechanismus der häufig im Rahmen von Sportverletzungen und insbesondere bei jungen Männern auftretenden Verletzung ist die direkte Gewalteinwirkung gegen das Schultergelenk [7, 13, 14, 17, 22]. Die klassische Behandlung der Klavikulaschaftfraktur war, auch im Falle moderater Dislokation der Fragmente, eine konservative Therapie [11, 16]. Aktuelle Studien berichten über hohe Pseudarthrosenraten von bis zu über 15 % nach Klavikulafrakturen [14, 20, 24]. Die primär operative Versorgung der Klavikulafraktur wird gegenwärtig zunehmend für die Behandlung dislozierter Klavikulaschaftfrakturen empfohlen, da die Ergebnisse günstiger als nach konservativer Therapie zu sein scheinen [2, 8, 21]. Zahlreiche Stu-

dien haben gezeigt, dass das primär chirurgische Vorgehen mit halboffener oder offener Reposition und Osteosynthese mittels intramedullärer Schienung mittels Prevot-Nägeln oder Platten bei der Versorgung dislozierter Klavikulaschaftfrakturen zu einer geringeren Pseudarthrosenrate führt und auch Komplikationen wie Verkürzungen und Deformitäten der Klavikula, die Funktionseinschränkungen im Schultergelenk zur Folge haben können, im Vergleich zur konservativen Behandlung seltener auftreten [2, 4, 6, 10, 15, 24]. Neben Rekonstruktionsplatten, die durch den Chirurgen an die individuellen anatomischen Verhältnisse angepasst werden müssen, sind seit einiger Zeit auch industriell anatomisch vorgeformte Varianten von Platten für die Klavikula verfügbar. Für andere Indikationen z. B. im Bereich der distalen Fibula hat sich gezeigt, dass die Entwicklung von Osteosyntheseplatten anhand anatomischer Datensätze möglich ist und eine statistisch optimale Passform erreicht werden kann [19]. Bisher basierte die Entwicklung von Plattenosteosynthesen auf einer häufig limitier-

ten Anzahl von Präparateuntersuchungen oder Kunstknochenmodellen [5, 12]. Die hohe Formvarianz der Klavikula in Verbindung mit dem nur dünnen Weichteilmantel über dem Schlüsselbein stellt dabei eine besondere Herausforderung an die Passform der dort verwendeten Plattenosteosynthesen dar.

Ziel der Studie war ein Vergleich der Passform von durch Chirurgen individuell vorgebogenen Rekonstruktionsplatten

Tab. 1 Passform („fitting error“, FE) und benötigte Biegezeit der manuell gebogenen Platten verglichen mit den beiden vorkonturierten anatomischen Platten

	Medianer FE (mm ²)	Mediane Biegezeit (min)
Chirurg A, Oberarzt	1,85	1:54
Chirurg B, Assistenzarzt	2,01	2:03
Chirurg C, Facharzt	2,75	1:18
Stryker VariAx (2 Krümmungen)	1,44	

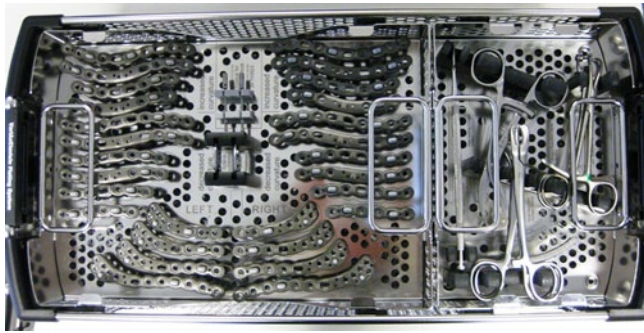


Abb. 1 ◀ „VariAx-Clavicle“-Sieb. (Mit freundl. Genehmigung Fa. Stryker GmbH & Co.KG)

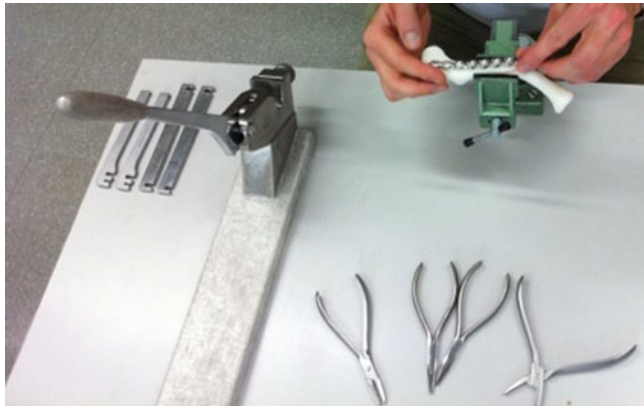


Abb. 2 ◀ Zum Biegen der Platten verwendete Instrumente



Abb. 3 ◀ VariAx Clavicle in zwei unterschiedlichen S-Krümmungen. (Mit freundl. Genehmigung Fa. Stryker GmbH & Co.KG)

mit der Passform von zwei neuen anhand von computertomographischen Datensätzen menschlicher Schlüsselbeine entwickelten und bereits vorkonturierten Platten (VariAx Clavicle, Stryker GmbH & Co.KG, Duisburg).

Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Basierend auf einer neuen, in Zusammenarbeit von Chirurgen und Implantatherstellern entwickelten, Software zur Knochen- und Implantatanalyse (Stryker Implant Fitting Tool) erfolgte die Optimierung der Plattengeometrie einer winkelstabilen Klavikula-Osteosyntheseplatte unter Verwendung einer Knochen-datenbank mit den Datensätzen von 334 menschlichen Schlüsselbeinen. Er-

gebnis sind zwei Plattengeometrien für die superiore Plattenanlage an der Klavikula mit unterschiedlicher S-Krümmung. Bei den in dieser Studie untersuchten Platten handelt es sich um 10-Loch-Platten mit einer Länge von 120 mm (starke S-Krümmung) bzw. 122 mm (schwache S-Krümmung; VariAx Clavicle, Stryker; **Abb. 1 und 3**). Die im „VariAx-Clavicle“-System verfügbaren kürzeren Platten mit einer Länge von 75–99 mm wurden in dieser Studie nicht untersucht.

Aus den segmentierten computertomographischen Datensätzen von 334 humanen Schlüsselbeinen wurden 8 zufällig ausgewählt und mithilfe eines „Rapid-prototyping“-Geräts exakt maßstabgetreu jeweils 3-fach aus Kunststoff hergestellt.

Drei Chirurgen mit unterschiedlichem Erfahrungsniveau [erfahrener

Oberarzt (A), Assistenzarzt (B) und junger Facharzt (C)] wurden gebeten, Rekonstruktionsplatten (Stryker SPS) für die 8 Schlüsselbeine individuell fachgerecht zu biegen. Zur Verfügung standen dabei jeweils zwei Paar Schränkeisen, eine Biegepresse (Standardaufsatz, Synthes GmbH, Umkirch), zwei Flachzangen sowie zwei Spitzzangen (**Abb. 2**). Die Kunststoffschlüsselbeine konnten in einem Schraubstock fixiert werden.

Weitere Vorgaben wurden den Operateuren nicht gemacht. Die Biegezeiten wurden mittels einer Stoppuhr exakt dokumentiert. Die 24 gebogenen Platten wurden anschließend durch einen 3D-Streifenlichtscanner (ATOS II, Fa. GOM mbH, Braunschweig) präzise vermessen.

Anschließend wurden alle 24 von den Chirurgen manuell gebogenen Platten und die beiden industriell vorkonturierten anatomischen Platten (**Abb. 3**) softwaregestützt bezüglich ihrer Passform untersucht. Dabei benutzt die Software einen Algorithmus, der den quadratischen Abstand zwischen Plattenunterseite und Knochenoberfläche minimiert und somit eine optimale Platzierung für die Platte findet. **Abb. 4** zeigt ein Beispielsergebnis des automatischen „Fitting“-Vorgangs einer VariAx-Platte. Die Farben zeigen die Distanz zwischen Platte und Knochen (grün < 0,5 mm).

Das Ergebnis ist ein normierter quadratischer Abstand, im Folgenden als „fitting error“ (FE) bezeichnet. Dieser FE wird für jede zu untersuchende Platten-Knochen-Kombination berechnet. Je geringer der FE, desto geringer der Abstand zwischen Knochen und Klavikula-Osteosyntheseplatte.

Für die hier vorgestellte Studie war eine A-priori-Fallzahlplanung nicht möglich, da es noch keine validen Daten gab, um diese Fallzahlberechnung sinngemäß durchzuführen. Die Untersuchung ist demnach als Pilotstudie anzusehen.

Die statistische Untersuchung lief in folgenden Schritten ab: Nach der Zusammenfassung aller validen Messergebnisse erfolgte die Berechnung aller wichtigen deskriptiven Kennzahlen zur Bestimmung von Lage, Streuung und weiteren Parametern für jede Untersuchungsgruppe.

Die geringen Fallzahlen in jeder Untersuchungsgruppe lassen keinen ein-

deutigen Rückschluss darauf zu, wie die Daten verteilt sind. Aus diesem Grund können für einen statistischen Vergleich der Untersuchungsgruppen untereinander keine parametrischen Methoden zum Einsatz kommen, da diese die Normalverteilung voraussetzen.

Aus diesem Grund wurde der Mann-Whitney-U-Test zum Vergleich der Mediane jeweils zweier Untersuchungsgruppen herangezogen. Zum Vergleich der Chirurgen A, B und C wurde der Kruskal-Wallis-Test angewendet ($\alpha=5\%$).

Die Software SPSS, Version 20.0.0 (IBM Inc., Armonk, NY/USA) diente als Grundlage für alle Berechnungen.

Ergebnisse

Die mediane Biegezeit pro Platte der drei Chirurgen variierte von 1:18 bis 2:03 min. Signifikante Unterschiede fanden sich nicht ($p=0,216$, **Tab. 1**; **Abb. 5**).

Die Passform der 8 knochenspezifisch gebogenen Implantate war unabhängig vom Grad der Berufserfahrung. Die Platten der Chirurgen A, B und C zeigten einen FE von $1,85 \text{ mm}^2$, $2,01 \text{ mm}^2$ und $2,75 \text{ mm}^2$. Auch hier konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden ($p=0,368$). Wenn die VariAx-Platte mit der besten Krümmungsform in Bezug zum jeweiligen Knochen gewählt wurde, konnte ein FE von $1,44 \text{ mm}^2$ erreicht werden. Dies ist signifikant besser als die Gesamtgruppe der Chirurgen ($p=0,042$, **Abb. 6**).

Diskussion

Die Frage des operativen oder konservativen Vorgehens bei Klavikulaschaftfrakturen ist weiterhin Grundlage der wissenschaftlichen Diskussion [2, 14]. Im Rahmen der weiteren wissenschaftlichen Analyse müssen Faktoren wie Pseudarthrosenrate, funktionelle Ergebnisse, Schmerz-Scores, Lebensqualität und kosmetische Aspekte berücksichtigt werden [23]. In der Vergangenheit hat sich bei anatomisch vorgeformten Implantaten im Bereich der Tibia eine hohe Passgenauigkeit gezeigt [5, 18]. Auch bei den hier untersuchten Klavikulaplaten zeigte sich, dass sich diese hohe Passgenauigkeit auch bei randomisiert ausge-

Obere Extremität 2013 · 8:226–230 DOI 10.1007/s11678-013-0226-0
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

B. Kienast · R. H. Burgkart · A. Petersik · N. Reimers · H. Neumann · C. Beigel · A. P. Schulz

Passform eines neuen auf Basis einer anatomischen Knochendatenbank entwickelten Klavikula-Osteosyntheseplattensystems (VariAx Clavicle) im Vergleich zu individuell von Chirurgen gebogenen Rekonstruktionsplatten

Zusammenfassung

Hintergrund. Ziel der Studie war ein Vergleich der Passform von durch Chirurgen individuell vorgebogenen Rekonstruktionsplatten mit der Passform von zwei neuen, anhand von CT-Datensätzen menschlicher Schlüsselbeine entwickelten und bereits vorkonturierten Platten (VariAx Clavicle, Fa. Stryker GmbH & Co.KG, Duisburg).

Methoden. Aus segmentierten computertomographischen Datensätzen von 334 Schlüsselbeinen wurden 8 zufällig ausgewählt und mithilfe eines „Rapid-prototyping“-Geräts als Kunststoffknochen hergestellt. Die Passgenauigkeit der von Hand durch drei Chirurgen unterschiedlicher Qualifikation individuell gebogenen Rekonstruktionsplatten wurde mit den vorkonturierten Platten verglichen.

Ergebnisse. Die zwei industriell gefertigten, vorkonturierten Platten wiesen eine ho-

he Passgenauigkeit der Plattenoberfläche mit einem „fitting error“ von unter $1,5 \text{ mm}^2$ auf und zeigten einen signifikanten Unterschied gegenüber der Passform der manuell durch Operateure angepassten Platten.

Schlussfolgerung. Die Entwicklung von Osteosynthesepplatten anhand von anatomischen 3D-Datensätzen für Knochen mit hoher individueller Formvarianz wie dem Schlüsselbein führt zu einer höheren Passgenauigkeit im Vergleich zu manuell gebogenen Plattenosteosynthesen.

Schlüsselwörter

Klavikula · Knochendatenbank · Osteosynthesepplatten · Vorbiegen · Passform

Plate fit of a novel clavicle plate system (VariAx Clavicle) developed using a CT-based anatomical bone database compared to reconstruction plates individually formed by surgeons

Abstract

Background. The aim of this study was the comparison of the plate to bone fit of manually bent reconstruction plates with two industrial prebent clavicle midshaft plates (VariAx Clavicle, Stryker, Duisburg, Germany). The precontoured plates were developed using an anatomical 3D computed tomography (CT)-bone database.

Methods. From an anatomical database of 334 clavicles 8 were randomly chosen and manufactured from artificial bone as physical 3D models using a rapid prototyping system and three surgeons of various qualification levels performed manual bending. The plate to bone fit of the manually bent plates was then compared to the fit of the VariAx midshaft plates.

Results. The industrially manufactured precontoured plates showed a high rate of plate fit with a fit error of less than 1.5 mm^2 and with a significant difference in comparison to the manually bent plates.

Conclusions. The development of osteosynthesis plates using anatomic 3D databases led to a higher degree of plate fit when compared to manually bent plates even for bones with a variable structure, such as the clavicle.

Keywords

Clavicle · Bone database · Osteosynthesis plate · Bending · Automated computer based plate fit

wählten Schlüsselbeinen echter anatomischer Daten nachweisen lässt. Es konnte weiterhin ermittelt werden, dass die Genauigkeit der Passform mindestens die Qualität erreicht, die von Chirurgen im Operationssaal unter Verwendung von Biegeinstrumenten erzielt wird. Dies ist von besonderer klinischer Bedeutung,

da im Falle einer plattenosteosynthetischen Versorgung von Klavikulafrakturen – insbesondere aufgrund des geringen Weichteilmantels über dem Schlüsselbein – eine möglichst hohe Passgenauigkeit der verwendeten Osteosynthesepplatte erreicht werden soll. Vergleicht man die individuell gebogenen Platten

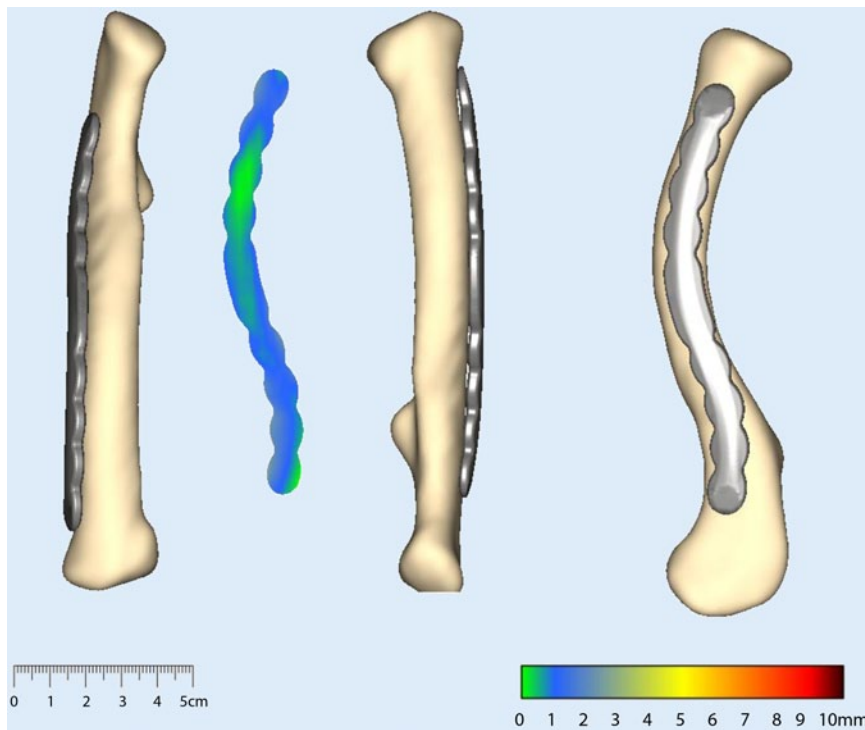


Abb. 4 ▲ Beispielergebnis des computergestützten automatischen „Fitting“-Vorgangs einer Vari-Ax-Platte. Die Farben zeigen die Distanz zwischen Platte und Knochen. (Mit freundl. Genehmigung Fa. Stryker GmbH, Duisburg)

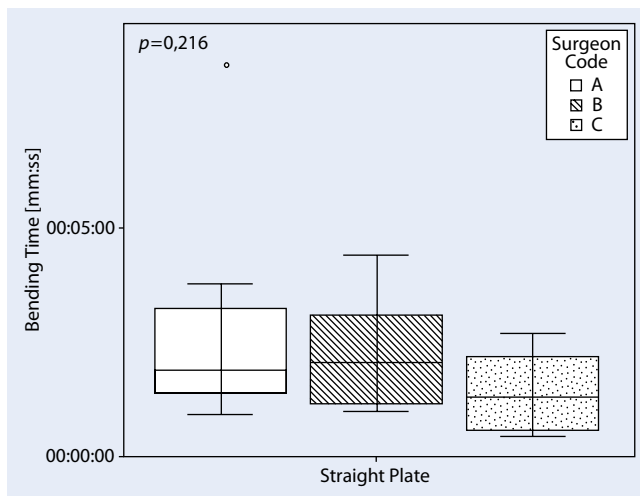


Abb. 5 ◀ Biegezeit – Boxplot (Darstellung von Median, Interquartilsabstand, Minimum und Maximum) sowie p-Wert

der Chirurgen unter optimalen „In-vitro“-Bedingungen gegenüber einem Set von zwei anhand anatomischer 3D-Datensätze industriell entwickelten anatomischen Platten, zeigt sich eine ähnliche oder bessere Passform der industriell vorkonturierten Osteosyntheseplatten. Diese ersten Ergebnisse zeigen, dass der auf einer großen dreidimensionalen anatomischen Datenbank beruhende neu entwickelte Plattendesignprozess es ermöglicht, die Passform von Platten

auch für Knochen mit hoher individueller Formvarianz, wie der Klavikula, zu optimieren. Der Vorteil derart optimierter Platten gegenüber individuell gebogenen Platten ist unter anderem eine Zeitersparnis durch den entfallenden intraoperativen Biegevorgang. Dieser betrug allerdings in dieser Studie lediglich etwa 2 min. Zu erwarten ist jedoch, dass die Anpassung von nicht vorkonturierten Platten unter „In-vivo“-Bedingungen einschließlich Weichteilmantel und

frakturierter Klavikula deutlich schwieriger wird und damit auch mehr Zeit in Anspruch nimmt. Außerdem kann das zum Erreichen einer idealen Passform häufig mehrfach erforderliche Biegen zu einer potenziellen Schwächung des Materials mit möglicherweise resultierendem Versagen der Osteosynthese führen. Dem gegenüberstellen muss man selbstverständlich höhere Kosten für das neuartige Implantat. Weder Platten für laterale Klavikulafrakturen noch Platten für eine anteriore Plattenlage wurden in der vorliegenden Studie getestet, obgleich beide auf dem betreffenden Sieb vorhanden sind. Über diese Versorgungsform kann deshalb keine Aussage gemacht werden.

Dieses neuartige Osteosynthesystem macht damit Biegeinstrumente im Operationssaal weitgehend entbehrlich und kann die Operationsdauer leicht verkürzen. Außerdem besteht der Vorteil einer sicher winkelstabilen Plattenversorgung. Beim manuellen Biegen von herkömmlichen oder winkelstabilen Rekonstruktionsplatten kommt es dagegen meist zu einer nicht unerheblichen Deformierung der Plattenlöcher. Hierdurch kann das Einbringen von herkömmlichen oder winkelstabilen Schrauben beeinträchtigt sein. Mit anatomisch konturierten Platten wird dieser Nachteil vermieden. Ob das Verbiegen die biomechanische Stabilität von Osteosyntheseplatten verringert, wurde im Rahmen dieser Studie nicht untersucht. Auch muss bedacht werden, dass eine Versorgung mittels einer langen geraden LCP („locking compression plate“), die die S-Form der Klavikula überbrückt, eine kostengünstige sowie zeitsparende Möglichkeit besteht. Hier ist natürlich der Weichteilmantel ausschlaggebend.

In der Zukunft kann die Entwicklung von Osteosynthesematerialien anhand von dreidimensionalen Knochendatenbanken sowohl Kosten senken als auch die Passgenauigkeit erhöhen [19]. Prospektive klinische Studien sind erforderlich, um nachzuweisen, ob die klinischen Ergebnisse der industriell vorgeformten Platten den chirurgisch manuell gebogenen überlegen sind.

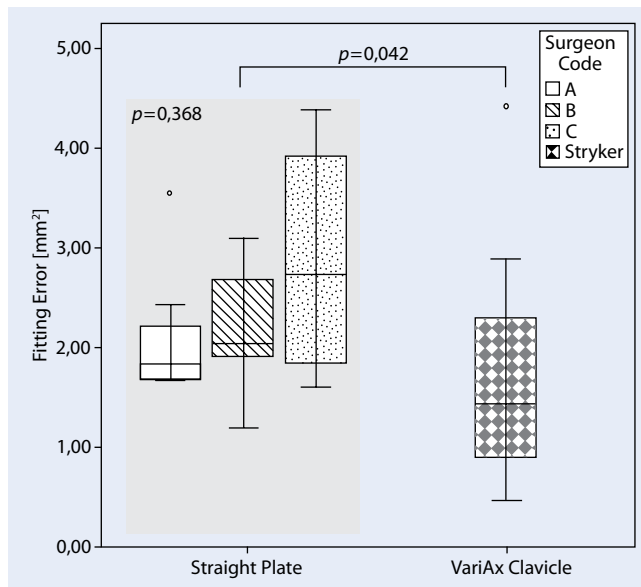


Abb. 6 Passform („fitting error“, FE) – Boxplot (Darstellung von Median, Interquartilsabstand, Minimum und Maximum) sowie p-Wert

Schlussfolgerung

Die Entwicklung von Osteosyntheseplatten anhand von dreidimensionalen anatomischen Datensätzen führt zu einer hohen Passgenauigkeit bei einer Vielzahl der zu behandelnden Patienten und eignet sich auch für Knochen mit hoher individueller Formvarianz wie der Klavikula.

Korrespondenzadresse

PD Dr. med. A. P. Schulz MD, PhD, MRCS
Sektion für Unfallchirurgie, Abteilung für Chirurgie des Stütz- und Bewegungsapparates
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
Ratzeburger Allee 160
23538 Lübeck
schulz@biomechatronics.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt für sich und seine Koautoren an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Open Access. Dieser Artikel unterliegt den Bedingungen der Creative Commons Attribution License. Dadurch sind die Nutzung, Verteilung, und Reproduktion erlaubt, sofern der/die Originalautor/en und die Quelle angegeben sind.

Literatur

- Altamimi SA, McKee MD (2008) Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures. Surgical technique. J Bone Joint Surg Am 90(Suppl 2 Pt 1):1–8
- Anonymous (2007) Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures. A multicenter, randomized clinical trial. J Bone Joint Surg Am 89:1–10

- Coupe BD, Wimbush JA, Indar R, Calder DA, Patel AD (2005) A new approach for plate fixation of midshaft clavicular fractures. Injury 36:1166–1171
- Eskola A, Vainionpää S, Myllynen P, Päätilä H, Rokkanen P (1986) Outcome of clavicular fracture in 89 patients. Arch Orthop Trauma Surg 105:337–338
- Goyal KS, Skalak AS, Marcus RE, Vallier HA, Cooperman DR (2007) Analysis of anatomic periarticular tibial plate fit on normal adults. Clin Orthop Relat Res 461:245–257
- Hilli JM, McGuire MH, Crosby LA (1997) Closed treatment of displaced middle-third fractures of the clavicle gives poor results. J Bone Joint Surg Br 79:537–539
- Hillen RJ, Burger BJ, Poll RG, de Gast A, Robinson CM (2010) Malunion after midshaft clavicle fractures in adults. Acta Orthop 81:273–279
- Judd DB, Pallis MP, Smith E, Bottoni CR (2009) Acute operative stabilization versus nonoperative management of clavicle fractures. Am J Orthop (Belle Mead NJ) 38:341–345
- Khan LA, Bradnock TJ, Scott C, Robinson CM (2009) Fractures of the clavicle. J Bone Joint Surg Am 91:447–460
- McKee MD, Seiler JG, Jupiter JB (1995) The application of the limited contact dynamic compression plate in the upper extremity: an analysis of 114 consecutive cases. Injury 26:661–666
- Neer CS 2nd (1960) Nonunion of the clavicle. J Am Med Assoc 172:1006–1011
- Nobari S, Katoozian HR, Zomorodimoghdam S (2010) Three-dimensional design optimisation of patient-specific femoral plates as a means of bone remodelling reduction. Comput Methods Biomech Biomed Engin 13:819–827
- Nowak J, Mallmin H, Larsson S (2000) The aetiology and epidemiology of clavicular fractures. A prospective study during a two-year period in Uppsala, Sweden. Injury 31:353–358
- Pearson AM, Tosteson AN, Koval KJ, McKee MD, Cantu RV, Bell JE, Vicente M (2010) Is surgery for displaced, midshaft clavicle fractures in adults cost-effective? Results based on a multicenter randomized, controlled trial. J Orthop Trauma 24:426–433
- Poigenfurst J, Rappold G, Fischer W (1992) Plating of fresh clavicular fractures: results of 122 operations. Injury 23:237–241
- Postacchini F, Gumina S, De Santis P (2002) Epidemiology of clavicle fractures. J Shoulder Elbow Surg 11:452–456
- Robinson CM, Court-Brown CM, McQueen MM, Wakefield AE (2004) Estimating the risk of nonunion following nonoperative treatment of a clavicular fracture. J Bone Joint Surg Am 86-A:1359–1365
- Schmutz B, Wulschlegler ME, Noser H, Barry M, Meek J, Schutz MA (2011) Fit optimisation of a distal medial tibia plate. Comput Methods Biomech Biomed Engin 14:359–364
- Schulz AP, Reimers N, Wipf F, Vallotton M, Bonaretti S, Kozic N, Reyes M, Kienast BJ (2012) Evidence-based development of a novel lateral fibula plate (VariAx fibula) using a real ct bone data based optimization process during device development. Open Orthop J 6:1–7
- Shen JW, Tong PJ, Qu HB (2008) A three-dimensional reconstruction plate for displaced midshaft fractures of the clavicle. J Bone Joint Surg Br 90:1495–1498
- Smekal V, Irenberger A, Struve P, Wambacher M, Krappinger D, Kralinger FS (2009) Elastic stable intramedullary nailing versus nonoperative treatment of displaced midshaft clavicular fractures—a randomized, controlled, clinical trial. J Orthop Trauma 23:106–112
- Stanley D, Trowbridge EA, Norris SH (1988) The mechanism of clavicular fracture. A clinical and biomechanical analysis. J Bone Joint Surg Br 70:461–464
- Stegeman SA, De Jong M, Sier CF, Krijnen P, Duijff JW, van Thiel TP, de Rijke PA, Soesman NM, Hage-naars T, Boekhoudt FD, de Vries MR, Roukema GR, Tanka AF, van den Bremer J, van der Meulen HG, Bronkhorst MW, van Dijkman BA, van Zutphen SW, Vos DI, Schep NW, Eversdijk MG, van Olden GD, van den Brand JG, Hillen RJ, Frölke JP, Schipper IB (2011) Displaced midshaft fractures of the clavicle: non-operative treatment versus plate fixation (Sleutel-TRIAL). A multicentre randomised controlled trial. BMC Musculoskelet Disord 12:196
- Zlowodzki M, Zelle BA, Cole PA, Jeray K, McKee MD; Evidence-Based Orthopaedic Trauma Working Group (2005) Treatment of acute midshaft clavicle fractures: systematic review of 2144 fractures: on behalf of the evidence-based orthopaedic trauma working group. J Orthop Trauma 19:504–507